

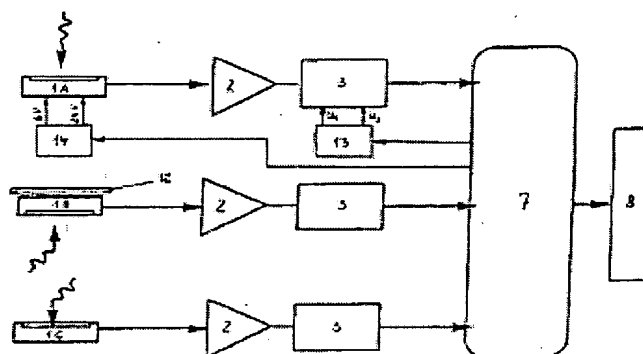
**Neutron gamma dosimeter comprises at least three channels, for detecting slow neutrons, fast neutrons and gamma radiation**

**Patent number:** DE10042076  
**Publication date:** 2001-05-10  
**Inventor:** KHLYNOV EVGUENI ALEKSANDROVICH (RU)  
**Applicant:** IFG INST FUER GERAETEBAU GMBH (DE)  
**Classification:**  
- international: G01T3/00; G01T1/02  
- european: G01T3/08  
**Application number:** DE20001042076 20000816  
**Priority number(s):** DE20001042076 20000816; DE19991039698 19990816

Report a data error here

**Abstract of DE10042076**

A neutron gamma dosimeter for detecting thermal neutrons, fast neutrons and gamma radiation using semiconductor detectors, comprises at least three channels. One channel has a detector for gamma radiation (1A), and the other two channels have a detector for thermal neutrons (1B) and fast neutrons (1C). The channel for gamma radiation detection has an adjustable barrier potential which enables sensitivity to be adjusted.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 42 076 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 T 3/00**  
G 01 T 1/02

⑳ Aktenzeichen: 100 42 076.1  
㉔ Anmeldetag: 16. 8. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 10. 5. 2001

DE 100 42 076 A 1

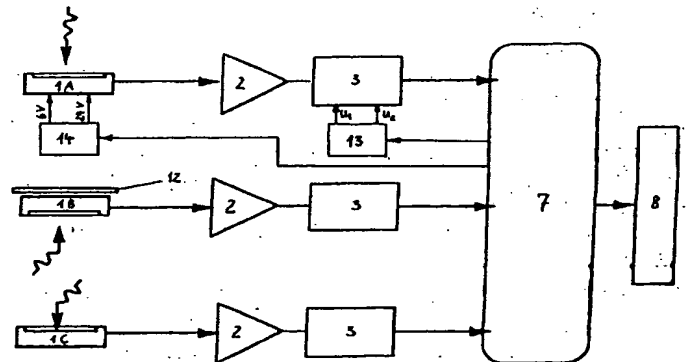
⑥⑥ Innere Priorität:  
199 39 698. 1 16. 08. 1999  
⑦1 Anmelder:  
IFG-Institut für Gerätebau GmbH, 12489 Berlin, DE  
⑦A Vertreter:  
Patentanwälte Gulde Hengelhaupt Ziebig, 10117  
Berlin

⑦2 Erfinder:  
Khlynov, Evgueni Aleksandrovich, Moskovskoj  
oblasti, RU

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Neutronen-Gamma-Dosimeter und Verfahren zur Dosisbestimmung

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter mit mindestens drei Kanälen zur Dosisbestimmung, welches anwendbar ist insbesondere zur gleichzeitigen Detektion und Anzeige von schnellen und thermischen Neutronen sowie von  $\gamma$ -Strahlung in Personendosimetern. Die Erfindung basiert darauf, daß ein Kanal einen Detektor 1A zur Detektion von  $\gamma$ -Strahlung mit Mitteln zur Einstellung der Empfindlichkeit gegenüber einfallender Strahlung aufweist. Die beiden weiteren Kanäle sind mit einem Detektor 1B zur Detektion von thermischen Neutronen und einem Detektor 1C zur Detektion von schnellen Neutronen versehen. Im Meßverfahren werden mindestens vier Meßwerte ermittelt, wobei ein erster Meßwert schnelle Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen, ein zweiter Meßwert nur höherenergetische  $\gamma$ -Photonen, ein dritter Meßwert thermische Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen und ein vierter Meßwert  $\gamma$ -Photonen eines weiten Energiespektrums registriert, und der erste und dritte Meßwert zur Darstellung der schnellen und thermischen Neutronen jeweils nach Subtraktion des zweiten Meßwertes und der vierte Meßwert zur Darstellung der  $\gamma$ -Strahlung direkt ausgegeben wird.



DE 100 42 076 A 1

Die Erfindung betrifft ein Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter und ein Verfahren zur Dosisbestimmung und ist anwendbar insbesondere zur gleichzeitigen Detektion und Anzeige von schnellen und thermischen Neutronen sowie von  $\gamma$ -Strahlung in Personendosimetern.

Da Neutronen keine elektrische Ladung besitzen, ist ihr Nachweis wesentlich komplizierter als der von geladenen Teilchen. Er kann nur als Ergebnis von Wechselwirkungen erfolgen, bei denen geladene Teilchen entstehen oder freigesetzt werden.

Die Wechselwirkung zwischen Neutronen und Elektronen erfolgt bedingt durch ihre magnetischen Momente. Sie ist sehr gering und führt nicht zur Ionisierung von Atomen beim Durchgang von Neutronen durch Stoffe. Deshalb werden Neutronen mit einem Zweistufen-Prozeß detektiert. Die Energie der Neutronen wird anfangs einem oder mehreren geladenen Teilchen übergeben, die dann registriert werden. Die Energieübergabe erfolgt durch Wechselwirkung der Neutronen mit den Atomkernen des Stoffes. Dabei können verschiedene Varianten der Wechselwirkung in Abhängigkeit vom Kerndurchmesser sowie der Neutronenenergie und des Streuwinkels bei Stoßprozessen mit den Kernen beobachtet werden.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedenste Personendosimeter bekannt. Dabei handelt es sich jedoch um Varianten von Thermolumineszenzdetektoren bzw. Filmdosimetern, die nicht direkt anzeigend sind und die nur über aufwendige stationäre Auswertesysteme Informationen über die Dosiswerte in periodischen Abständen bereitstellen (DE 39 03 113 A1, DE 39 27 107 A1, DE 41 05 126 A1).

Eine Beschreibung der Nachweiselektronik für einen Si-Detektor für schnelle Neutronen ist von Y. Hosono u. a. in NIM in Phys. Res. A, 361 (1995) 554–557 enthalten. Dieses Meßsystem ist aber lediglich als Laborgerät konzipiert.

Im "Journal of the Atomic Energy Society of Japan", Vol. 36, No. 4 (1994), S. 337–345 wurde von T. Nakamura et al. ein Dosimeter mit zwei Silizium-Detektoren für schnelle und thermische Neutronen beschrieben. M. Sasaki et al. stellen in NIM in Phys. Res., A 418 (1998), S. 465–475 ein weiteres Neutronen-Dosimeter mit zwei Silizium-Detektoren für schnelle bzw. thermische Neutronen vor. Auch die Offenlegungsschrift DE 197 21 618 A1 beschreibt ein solches Dosimeter. Die drei eben genannten Geräte verzichten jedoch auf die Messung der  $\gamma$ -Strahlung. Im Falle von DE 197 21 618 A1 wird das Neutronenspektrum mit Hilfe von neuronalen Netzen ermittelt.

Auch in US 4 757 202 wird ein Dosimeter zur Ermittlung von Neutronen- und  $\gamma$ -Strahlung beschrieben. Dieses weist einen Metalloxid-Feldeffekt-Transistor zur Messung der  $\gamma$ -Strahlung und eine PIN-Diode für die Messung der Neutronen auf.

Ein Neutronen-Dosimeter mit zwei Silizium-Detektoren wird von T. Nakamura et al. in "Applied Radiation and Isotopes", Vol. 46, No. 6/7, (1995), S. 469 f. vorgestellt. Dies weist zur Registrierung der Neutronen-Strahlung zwei Silizium-Detektoren auf und einen weiteren Silizium-Detektor zur Messung der  $\gamma$ -Strahlung.

In der Fachliteratur ist weiterhin ein System beschrieben (M. Sasaki, T. Nakamura, O. Ueda, T. Suzuki, "Development of real time personal neutron dosimeter with two silicon detectors", 1996, pp. 108–113), das aus zwei Halbleiterdetektoren, die jeweils thermische oder schnelle Neutronen messen, besteht. Ein weiterer Detektor liefert Informationen über die Beta- und Gamma-Strahlendosis.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit welchen mit einfachen Mitteln effektiv und reproduzierbar die Dosis von

schnellen und thermischen Neutronen sowie  $\gamma$ -Photonen ermittelt und angezeigt werden kann und die Vorrichtung in Kleinstbauweise realisierbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 13 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die gleichzeitige Funktion von Detektoren für  $\gamma$ -Photonen sowie für schnelle und thermische Neutronen gewährleistet wird, indem der Kanal zur Detektion der  $\gamma$ -Strahlung Mittel zur Einstellung der Empfindlichkeit gegenüber einfallender Strahlung aufweist.

Dabei ist der Kanal zur Detektion von  $\gamma$ -Strahlung so konzipiert, daß er die Möglichkeit aufweist, die Sperrspannung des Detektors 1A und/oder die Bezugsspannung des Komparators 3 zu verändern, und durch diese Variation von Sperr- und Bezugsspannung zeitversetzt in zwei verschiedenen Betriebszuständen arbeiten kann. Damit wird erreicht, daß dieser Kanal wahlweise für die Messung der  $\gamma$ -Strahlung oder für die Messung der Dosis und Dosisleistung der Neutronenstrahlung zur Verfügung steht.

Eine reproduzierbare Ermittlung der beiden Arten von Neutronenstrahlung basiert darauf, daß mindestens vier Meßwerte ermittelt werden, wobei ein erster Meßwert schnelle Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen, ein zweiter Meßwert nur höherenergetische  $\gamma$ -Photonen, ein dritter Meßwert thermische Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen und ein vierter Meßwert nur  $\gamma$ -Photonen aus einem weiten Energiespektrum registriert, wobei der vierte Meßwert zur Darstellung der  $\gamma$ -Strahlung direkt und der erste und dritte Meßwert zur Darstellung der schnellen und thermischen Neutronen jeweils nach Subtraktion des zweiten Meßwertes ermittelt werden, und der erste Meßwert dadurch gebildet wird, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen sowie höherenergetische  $\gamma$ -Photonen erfasst werden und der zweite Meßwert dadurch gebildet wird, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen durch eine Schicht, die aus einem Stoff besteht, der keinen Wasserstoff enthält und für den nur eine geringe Emissionswahrscheinlichkeit von Sekundärstrahlung besteht, z. B. eine Fluoroplastschicht, gestoppt und damit die Rückstoßprotonen nicht und somit nur  $\gamma$ -Photonen erfasst werden und der dritte Meßwert dadurch gebildet wird, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen durch eine Schicht, die aus einem Stoff besteht, der keinen Wasserstoff enthält und für den nur eine geringe Emissionswahrscheinlichkeit von Sekundärstrahlung besteht, z. B. eine Fluoroplastschicht, gestoppt werden, thermische Neutronen in einer Schicht aus einem Stoff, in dem schnelle Neutronen keine Reaktionen hervorrufen, der jedoch bei der Wechselwirkung mit thermischen Neutronen  $\alpha$ -Teilchen emittiert, z. B. eine  $^{10}\text{B}$ -Pulverschicht oder eine  $^6\text{Li}$ -Schicht,  $\alpha$ -Teilchen erzeugen und diese sowie höherenergetische  $\gamma$ -Photonen erfasst werden.

Die  $^{10}\text{B}$ - oder die  $^6\text{Li}$ -Schicht kann pulverförmig oder polykristallin oder in Form gepresster Tabletten realisiert sein.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von zumindest teilweise in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung des Aufbaus eines Mustergerätes

Fig. 2A den strukturellen Aufbau des Detektorbereiches 1A

Fig. 2B den strukturellen Aufbau des Detektorbereiches 1B

Fig. 2C den strukturellen Aufbau des Detektorbereiches 1C

Fig. 3 ein Funktionsschaltbild des Dosimeters

Fig. 4 eine Meßanordnung

In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Musters eines Neutronen- $\gamma$ -Dosimeters schematisch dargestellt. In Abhängigkeit vom Typ des Strahlungsempfängers dient der jeweilige Kanal zur Zählung der thermischen Neutronen, der schnellen Neutronen bzw. der  $\gamma$ -Photonen.

Das funktionsfähige Muster besteht aus drei einzelnen gleichwertigen radiometrischen Kanälen, wobei jeder aus einem Siliziumdetektor 1A, 1B, 1C, einem Verstärker 2, einem Komparator 3 und einem Impulszähler 6 mit Anzeige 8 und einem Zeitmarkengeber besteht. Die Detektoren und die Verstärker sind in einem gemeinsamen Metallgehäuse untergebracht, das zur elektronischen Abschirmung 4 dient.

Der jeweilige Siliziumdetektor 1A, 1B, 1C und der Verstärker 2 sind für jeden Kanal auf einer einzelnen gedruckten Leiterplatte nebeneinander angebracht. Die Rückseite des Detektors 2 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel mit leitendem Kleber an den Kontakteiter der gedruckten Leiterplatte geklebt. Der Frontkontakt des Detektors mit der gedruckten Leiterplatte erfolgt durch einen Golddraht, der mittels Ultraschall angeschweißt wurde. Die Konstruktion der Befestigung des Detektors erlaubt es, auf seiner aktiven Fläche Konverter anzubringen. Die Befestigung der Konverter auf der Detektoroberfläche erfolgt im vorliegenden Ausführungsbeispiel mit einem Klebeband, das an den Konverter und die gedruckte Leiterplatte angeklebt wird. Der Verstärker 2 besteht aus SMD-Bauelementen. Es wurde eine bipolare Bauelementebasis mit einem Feldeffekt-Transistor am Eingang verwendet. Der Komparator 3, der Zeitmarkengeber und der Impulszähler 6 für jeden Kanal sind jeweils in einem Gehäuse aus Plastik untergebracht, wobei diese über ein Kabel mit dem Metallgehäuse verbunden sind. Die drei Plastegehäuse, die auch zu einem Gehäuse vereinigt werden können, sind auf dem Metallgehäuse befestigt. Das Muster ist also in Form eines einheitlichen Detektorblocks ausgeführt, der die Funktion der Detektion und der Anzeige der Strahlung vereint. Die Stromzufuhr erfolgt über einen Batterieblock 5, der über ein Kabel mit dem Detektorblock verbunden ist.

Die Detektorstrukturen sind in Fig. 2 dargestellt. Ihre Funktionsweise besteht im folgenden:

Die aktive Fläche des Detektors 1C für schnelle Neutronen wird mit einer Polyäthylenscheibe bedeckt. Die schnellen Neutronen erzeugen bei ihrem Durchgang durch das Polyäthylen Rückstoßprotonen, die dann vom Detektor 1C registriert werden. Gleichzeitig mit den Protonen registriert der Detektor 1C auch  $\gamma$ -Photonen. Die thermischen Neutronen durchdringen die Polyäthylenscheibe und den Siliziumdetektor ohne Wechselwirkung, so daß der Impulszähler 6 des Kanals der schnellen Neutronen nur die Impulse zählt, die von den schnellen Neutronen und den  $\gamma$ -Photonen hervorgerufen werden.

Die aktive Fläche des Detektors 1A für  $\gamma$ -Photonen wird ebenfalls mit einer Polyäthylenscheibe bedeckt, jedoch befindet sich zusätzlich zwischen der Detektoroberfläche und der Polyäthylenscheibe eine Fluoroplastschicht 10. Die Fluoroplastschicht 10 stoppt die Rückstoßprotonen, die von den schnellen Neutronen erzeugt wurden, mit den schnellen und thermischen Neutronen wechselwirkt diese Schicht nicht. Für die  $\gamma$ -Photonen stellt weder die Fluoroplastschicht 10 noch das Polyäthylen eine wesentliche Abschirmung dar,

so daß der Detektor 1A nur  $\gamma$ -Quanten registriert. Die thermischen Neutronen wechselwirken weder mit dem Polyäthylen noch mit dem Fluoroplast und dem Silizium; die Rückstoßprotonen, die durch die schnellen Neutronen aus dem Polyäthylen herausgeschlagen werden, werden in der Fluoroplastschicht 10 gestoppt. Infolgedessen zählt der Zähler 6 des  $\gamma$ -Photonen-Kanals nur die Impulse von den  $\gamma$ -Photonen. Auch im Falle der thermischen Neutronen wird die aktive Fläche des Detektors 1B mit einer Polyäthylenscheibe bedeckt, zwischen der Detektoroberfläche und der Polyäthylenscheibe befindet sich eine Fluoroplastschicht 10 und eine  $^{10}\text{B}$ -Pulver-Schicht 11, die direkt auf die Detektoroberfläche aufgebracht ist. Wie ersichtlich, ist dieser Kanal ähnlich wie der Kanal für die  $\gamma$ -Photonen strukturiert, unterscheidet sich aber von diesem durch das Vorhandensein der  $^{10}\text{B}$ -Pulver-Schicht 11, aus der die durch Kernreaktion der thermischen Neutronen mit den  $^{10}\text{B}$ -Kernen erzeugten  $\gamma$ -Teilchen heraustreten und im Detektor 1B registriert werden. Die schnellen Neutronen wechselwirken nicht mit den hier verwendeten Borisotopen und die aus der Polyäthylenscheibe 9 austretenden Rückstoßprotonen werden in der Fluoroplastschicht 10 gestoppt, so daß der Zähler 6 des Kanals für die thermischen Neutronen nur  $\gamma$ -Photonen und thermische Neutronen registriert. Damit festgestellt werden kann, wieviele Impulse von den thermischen Neutronen registriert werden, sind von der Summe der Impulse des Kanals der schnellen Neutronen die Impulse des Kanals der  $\gamma$ -Photonen abzuziehen.

Zur Bestimmung der Impulszahl, die von den thermischen Neutronen registriert wurden, muß von der Summe der im Kanal der thermischen Neutronen registrierten Impulse ebenfalls die Zahl der Impulse des Kanals der  $\gamma$ -Photonen abgezogen werden.

Die wichtigste Anforderung bei der Dosismessung von Neutronenstrahlung, die auf der Subtraktion der Impulse des  $\gamma$ -Kanals von den Impulszahlen der beiden anderen Kanälen beruht, besteht in der Minimierung der Empfindlichkeit aller Detektoren für die  $\gamma$ -Strahlung. Diese Anforderung ergibt sich daraus, daß im Falle hoher Dosisleistungen der  $\gamma$ -Strahlung bei gleichen Äquivalenzdosiswerten die Fluktuationsgröße der Differenzen, die nach der Subtraktion der Impulszahlen des  $\gamma$ -Kanals von den Werten der Kanäle für die schnellen bzw. thermischen Neutronen erhalten werden, vergleichbar sein kann mit der Zahl der Impulse, die von den Neutronen registriert wird. Die absolute Fluktuationsgröße nimmt direkt proportional zur Verringerung der Empfindlichkeit der Detektoren für  $\gamma$ -Strahlung ab. Eine Verringerung der Empfindlichkeit der Detektoren für  $\gamma$ -Strahlung wird durch Verringerung der Sperrspannung bei gleichzeitiger Erhöhung der Bezugsspannung der Komparatoren erreicht. Dabei erfolgen eine Verringerung der Sperrspannung und eine Erhöhung der Bezugsspannung der Komparatoren bis zu Werten, die noch nicht zu einer wesentlichen Verringerung der Empfindlichkeit für Neutronenstrahlung führen. Solche Betriebsbedingungen für den  $\gamma$ -Detektor, z. B. eine Sperrspannung von 6 V, eine Bezugsspannung der Komparatoren von 1,2 V bei einer Amplitude des Rauschsignals von 30 mV, erhöhen die Stabilität der Messung der  $\gamma$ -Dosis im geforderten Energieintervall (70 keV bis 5 MeV). Damit eine Dosis- und Dosisleistungsmessung für die  $\gamma$ -Strahlung im Photonenenergieintervall von 70 keV bis 5 MeV gleichzeitig mit der Dosis- und Dosisleistungsmessung für die Neutronenstrahlung erfolgen kann, werden die Sperrspannungsquelle und die Bezugsspannungsquelle für den Komparator des  $\gamma$ -Kanals mit der Einstellmöglichkeit von verschiedenen Spannungswerten ausgestattet. Der zweite und dritte Kanal zur Detektion der thermischen bzw. schnellen Neutronen weist einen konstanten Zustand mit geringer

Sperrspannung und also geringer Empfindlichkeit gegenüber  $\gamma$ -Strahlung auf. Die Auswahl der entsprechenden Spannungswerte wird von einem Mikroprozessor gesteuert. Bei einem Sperrspannungswert von z. B. 24 V erreicht die Dicke der aktiven Zone des Detektors einen genügend großen Wert für eine Registrierung der  $\gamma$ -Strahlung im geforderten Energieintervall mit ausreichender Empfindlichkeit. Bei einem Sperrspannungswert von 6 V verringert sich die Dicke der aktiven Zone, und der Detektor wird gering empfindlich für  $\gamma$ -Strahlung, insbesondere für Photonen mit einer Energie kleiner 1 MeV. Der Mikroprozessor stellt gleichzeitig mit der Wahl des Sperrspannungswertes den Bezugsspannungswert des Komparators für den  $\gamma$ -Kanal ein. Bei einem hohen Sperrspannungswert wird ein niedriger Bezugsspannungswert gewählt, bei einem niedrigen Sperrspannungswert ein hoher Bezugsspannungswert für den Komparator.

Der Detektor des  $\gamma$ -Kanals kann zeitversetzt in zwei Betriebszuständen arbeiten. Einmal im Betriebszustand zur Messung der  $\gamma$ -Komponente am Ausgang der Neutronenkanäle. In diesem Zustand wird ein niedriger Wert der Sperrspannung des Detektors und ein hoher Wert der Bezugsspannung des Komparators für den  $\gamma$ -Kanal gewählt. Zum anderen im Betriebszustand der Dosis- und Dosisleistungsmessung für die  $\gamma$ -Strahlung. In diesem Zustand wird ein hoher Wert der Sperrspannung des Detektors und ein geringer Wert der Bezugsspannung des Komparators für den  $\gamma$ -Kanal gewählt.

Der Funktionsalgorithmus des Neutronen- $\gamma$ -Dosimeters mit modifiziertem  $\gamma$ -Kanal kann der folgende sein:

Während eines Teils der Meßzeit, z. B.  $\frac{3}{4}$  jeder Sekunde, befindet sich das Dosimeter im Betriebszustand eines Neutronendosimeters mit einem  $\gamma$ -Kanal geringer Empfindlichkeit für  $\gamma$ -Strahlung. Die erhaltenen Meßergebnisse werden mit Hilfe der implementierten Software bearbeitet und die Neutronendosis und -dosisleistung bestimmt. Innerhalb der verbleibenden Meßzeit, z. B.  $\frac{1}{4}$  Sekunde, befindet sich das Dosimeter im Betriebszustand eines  $\gamma$ -Dosimeters, wobei die Signale nur vom  $\gamma$ -Kanal berücksichtigt werden. Der Detektor befindet sich dabei in einem Zustand maximaler Empfindlichkeit für  $\gamma$ -Strahlung.

Die Notwendigkeit des Einsatzes einer Polyäthylenschicht 9 bei allen drei Detektoren 1A, 1B, 1C und nicht nur bei dem Detektor 1C für schnelle Neutronen ist dadurch zu erklären, daß die Detektoren 1A, 1B, 1C bzgl. der  $\gamma$ -Photonen die gleiche Empfindlichkeit haben müssen, die An- oder Abwesenheit von Polyäthylen auf dem Detektor jedoch stark seine Kapazität und damit seine Empfindlichkeit ändert. Dies erklärt auch das Vorhandensein der blockierenden, für die durch schnelle Neutronen erzeugte Rückstoßprotonen unempfindliche Fluoroplastschicht 10 auf den Detektoren für die thermischen Neutronen und die  $\gamma$ -Photonen. Eine Entfernung der Polyäthylenschicht 9, die als Quelle der Rückstoßprotonen dient, ist nicht möglich, da dies die  $\gamma$ -Photonen-Empfindlichkeit der entsprechenden Detektoren im Vergleich zur  $\gamma$ -Photonen-Empfindlichkeit des Detektors 1C für schnelle Neutronen ändert. Die Schichtdicken für die Polyäthylenscheibe und die Fluoroplastschicht 10 werden so gewählt, daß die Kapazität und damit auch die Empfindlichkeit für alle drei Detektoren 1A, 1B, 1C gleich ist. Außerdem ist es erforderlich, daß alle drei Detektoren 1A, 1B, 1C jeweils aus benachbarten Bereichen eines Siliziumwafers hergestellt werden, da dies zusätzlich zu einem Ausgleich der Empfindlichkeit für die  $\gamma$ -Photonen beiträgt.

Das Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter kann auch so aufgebaut sein, daß die direkten langsamen Neutronen vom Detektor nicht registriert werden, da diese zur Neutronenbelastung nur geringfügig beitragen. Das Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter ist für die-

sen Zweck so konfiguriert, daß es den direkten Strom thermischer Neutronen nicht erfaßt. Dazu ist der Detektor 1B für den Nachweis langsamer Neutronen mit einer 0,5 mm-Kadmiumfolie 12 gegen den Einfluß frontal und seitlich einfallender thermischer Neutronen abgeschirmt. Der Nachweis langsamer Neutronen aus der Albedostrahlung 18 erfolgt mit Hilfe der in der  $(n, \alpha)$ -Reaktion am Bor-Isotop  $^{10}\text{B}$  ausgelösten  $\alpha$ -Teilchen. Dementsprechend ist dieser Detektor 1B mit der davorliegenden  $^{10}\text{B}$ -Schicht umgekehrt, also zum Körper des Trägers gerichtet, während die beiden anderen Detektoren nach vorn, also vom Körper des Trägers weg gerichtet sind (vgl. Fig. 3). Die schnellen Neutronen hinterlassen hier keinen merklichen Effekt. Prinzipiell könnte an Stelle der  $^{10}\text{B}$ - $(n, \alpha)$ -Reaktion auch auf die  $^6\text{Li}$ - $(n, \alpha)$ -Reaktion zurückgegriffen werden. Eine Meßanordnung für den Nachweis der thermischen Neutronen aus der Albedostrahlung ist in Fig. 4 dargestellt.

Im Praxisbereich ist es möglich, daß das Dosimeter den Nutzer durch ein akustisches Signal vor thermischen Neutronen mit einer Flußdichte, die einen Schwellwert übersteigt, warnt. Die Schwellwerteinstellung kann vom Nutzer selbst vorgenommen werden.

Die Dosis der  $\gamma$ -Strahlung wird auf der Grundlage der Impulszahl im Kanal der  $\gamma$ -Photonen berechnet. Nach Berechnung der Neutronendosis und der  $\gamma$ -Dosis werden die entsprechenden Werte gespeichert, dann summiert und entweder als Gesamt-Neutronen- $\gamma$ -Dosis oder als einzelne Werte je nach Wunsch des Nutzers angezeigt.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß jeder der drei Detektorbereiche mit einem gesonderten Nachweiskanal für Einzelereigniszählung, bestehend aus Vorverstärker, Impulsformer, Impulshöhendistriminator, ADC und digitalem Speicher versehen wird. Somit können alle registrierten Ereignisse nach Art und Energie der Strahlung registriert und über einer Zeitbasis gespeichert werden. Mittels eines Softwarepaketes, das auf PROM resistent im Gerät verfügbar ist, können Dosis und Dosisleistung mit Wichtung der biologischen Schädlichkeit gemessen, gespeichert und auf einem integrierten Display angezeigt werden.

Über eine Schnittstelle ist die Strahlungsbelastung, der jeweils eine betreffende Person in einem Zeitintervall ausgesetzt war, auslebst und steht einer weiteren Bearbeitung im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Nachweispflicht zur Verfügung.

Das Funktionsschaltbild des Dosimeters ist in Fig. 3 gezeigt. Jeder Kanal besteht aus Detektor 1 mit Konverter, Verstärker 2, Komparator 3 und Zähler 6. Allen drei Kanälen gemeinsam zugeordnet ist ein Prozessor 7 sowie eine im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Flüssigkristalldisplay ausgebildeten Anzeige 8.

Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier dargestellten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination und Modifikation der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

#### Bezugszeichenliste

- 1A Detektor für  $\gamma$ -Strahlung
- 1B Detektor für thermische Neutronen
- 1C Detektor für schnelle Neutronen
- 2 Verstärker
- 3 Komparator
- 4 Abschirmung
- 5 Energieversorgung
- 6 Impulszähler
- 7 Prozessor
- 8 Anzeige

- 9 Polyäthylenschicht
- 10 Fluoroplastschicht
- 11  $^{10}\text{B}$ - oder  $^6\text{Li}$ -Schicht
- 12 Kadmiumfolie
- 13 Bezugsspannungsquelle
- 14 Sperrspannungsquelle
- 15 Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter
- 16 Neutronenquelle
- 17 Phantom
- 18 thermische Albedo-Neutronen-Strahlung

#### Patentansprüche

1. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter zur Detektion von thermischen Neutronen, schnellen Neutronen und  $\gamma$ -Strahlung unter Verwendung von Halbleiter-Detektoren, welches mindestens drei Kanäle aufweist, wobei ein Kanal einen Detektor (1A) zur Detektion von  $\gamma$ -Strahlung und die beiden weiteren Kanäle einen Detektor (1B) zur Detektion von thermischen Neutronen und einen Detektor (1C) zur Detektion von schnellen Neutronen aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Kanal zur Detektion der  $\gamma$ -Strahlung Mittel zur Einstellung der Empfindlichkeit gegenüber einfallender Strahlung aufweist.
2. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zur Einstellung der Empfindlichkeit eine einstellbare Sperrspannungsquelle (14) zur Veränderung der Sperrspannung des Detektors (1A) und/oder eine einstellbare Bezugsspannungsquelle (13) zur Veränderung der Bezugsspannung des Komparators (3) ist.
3. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (1A, 1B, 1C) aus Silizium bestehen.
4. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Fläche der Detektoren (1A, 1B, 1C) eine wasserstoffhaltige Deckschicht (9) aufweist.
5. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (9) aus Polyäthylen besteht.
6. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Detektor (1A) zwischen der aktiven Fläche und der Deckschicht (9) eine Fluoroplastschicht (10) angeordnet ist.
7. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Detektor (1B) zwischen der aktiven Fläche und der Deckschicht (9) eine Fluoroplastschicht (10) und eine  $^{10}\text{B}$ -Schicht oder  $^6\text{Li}$ -Schicht (11) direkt auf der Detektoroberfläche angeordnet ist.
8. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (1A, 1B, 1C) jeweils mit einem Verstärker (2), einem Komparator (3), einem Impulzzähler (6), einem Prozessor (7), einem Zeitmarkengeber und einer Anzeige (8) verbunden sind.
9. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (1A, 1B, 1C) und die Verstärker (2) in einem Gehäuse mit Abschirmung (4) untergebracht sind und eine zentrale Energieversorgung (5) angeordnet ist.
10. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß alle drei Detektoren (1A, 1B, 1C) aus benachbarten Bereichen eines Siliziumwafers hergestellt sind.
11. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2

- dadurch gekennzeichnet, daß das Dosimeter als tragbares Personendosimeter mit Anzeige ausgebildet ist.
12. Neutronen- $\gamma$ -Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor (1B) für den Nachweis langsamer Neutronen mit einer dünnen Kadmiumfolie (12) gegen den Einfluß frontal und seitlich einfallender thermischer Neutronen abgeschirmt ist, und der Nachweis langsamer Neutronen aus der Albedostrahlung (18) in der Weise erfolgt, daß dieser Detektor (1B) in die den beiden anderen Detektoren (1A) und (1C) entgegengesetzte Richtung ausgerichtet ist.
  13. Verfahren zur Detektion und Anzeige von thermischen Neutronen, schnellen Neutronen und  $\gamma$ -Strahlung, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens vier Meßwerte ermittelt werden, wobei
    - ein erster Meßwert schnelle Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen,
    - ein zweiter Meßwert nur höherenergetische  $\gamma$ -Photonen,
    - ein dritter Meßwert thermische Neutronen und höherenergetische  $\gamma$ -Photonen und
    - ein vierter Meßwert nur  $\gamma$ -Photonen aus einem weiten Energiespektrum registriert, wobei
    - der vierte Meßwert zur Darstellung der  $\gamma$ -Strahlung direkt und der erste und dritte Meßwert zur Darstellung der schnellen und thermischen Neutronen jeweils nach Subtraktion des zweiten Meßwertes ermittelt werden.
  14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Meßwert dadurch gebildet wird, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen sowie höherenergetische  $\gamma$ -Photonen erfaßt werden.
  15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das wasserstoffhaltige Material Polyäthylen ist.
  16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite und vierte Meßwert dadurch gebildet werden, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen durch eine Schicht, die aus einem Stoff besteht, der keinen Wasserstoff enthält und für den nur eine geringe Emissionswahrscheinlichkeit von Sekundärstrahlung besteht, gestoppt und damit die Rückstoßprotonen nicht und somit nur  $\gamma$ -Photonen erfaßt werden.
  17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Meßwert mit geringer Empfindlichkeit des Detektors für  $\gamma$ -Strahlung erfaßt wird.
  18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der vierte Meßwert mit hoher Empfindlichkeit des Detektors für  $\gamma$ -Strahlung erfaßt wird.
  19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die geringe Empfindlichkeit des Detektors (1A) durch eine dünne aktive Zone des Detektors (1A) erzeugt wird.
  20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13–19, dadurch gekennzeichnet, daß ein geringer Wert der Sperrspannung des Detektors (1A) und ein hoher Wert der Bezugsspannung des Komparators (3) vorgegeben wird, um die Empfindlichkeit des Detektors (1A) für  $\gamma$ -Strahlung zu verringern.
  21. Verfahren nach einem der Ansprüche 13–18, dadurch gekennzeichnet, daß die hohe Empfindlichkeit des Detektors (1A) durch eine breite aktive Zone des Detektors (1A) erzeugt wird.
  22. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekenn-

zeichnet, daß ein hoher Wert der Sperrspannung des Detektors (1A) und ein geringer Wert der Bezugsspannung des Komparators (3) vorgegeben wird, um die Empfindlichkeit des Detektors (1A) für  $\gamma$ -Strahlung zu erhöhen.

5

23. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht eine Flouroplastschicht ist.

24. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte Meßwert dadurch gebildet wird, daß durch schnelle Neutronen beim Durchgang durch wasserstoffhaltige Materialien erzeugte Rückstoßprotonen durch eine erste Schicht, die aus einem Stoff besteht, der keinen Wasserstoff enthält und für den nur eine geringe Emissionswahrscheinlichkeit von Sekundärstrahlung besteht, gestoppt werden, thermische Neutronen in einer zweiten Schicht aus einem Stoff, in dem schnelle Neutronen keine Reaktionen hervorrufen, der jedoch bei der Wechselwirkung mit thermischen Neutronen  $\alpha$ -Teilchen emittiert,  $\alpha$ -Teilchen erzeugen und diese sowie höherenergetische  $\gamma$ -Photonen erfaßt werden.

10

15

20

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht eine  $^{10}\text{B}$ - oder  $^6\text{Li}$ -Schicht ist.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schicht pulverförmig oder polykristallin oder in Form von gepressten Tabletten realisiert ist.

25

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

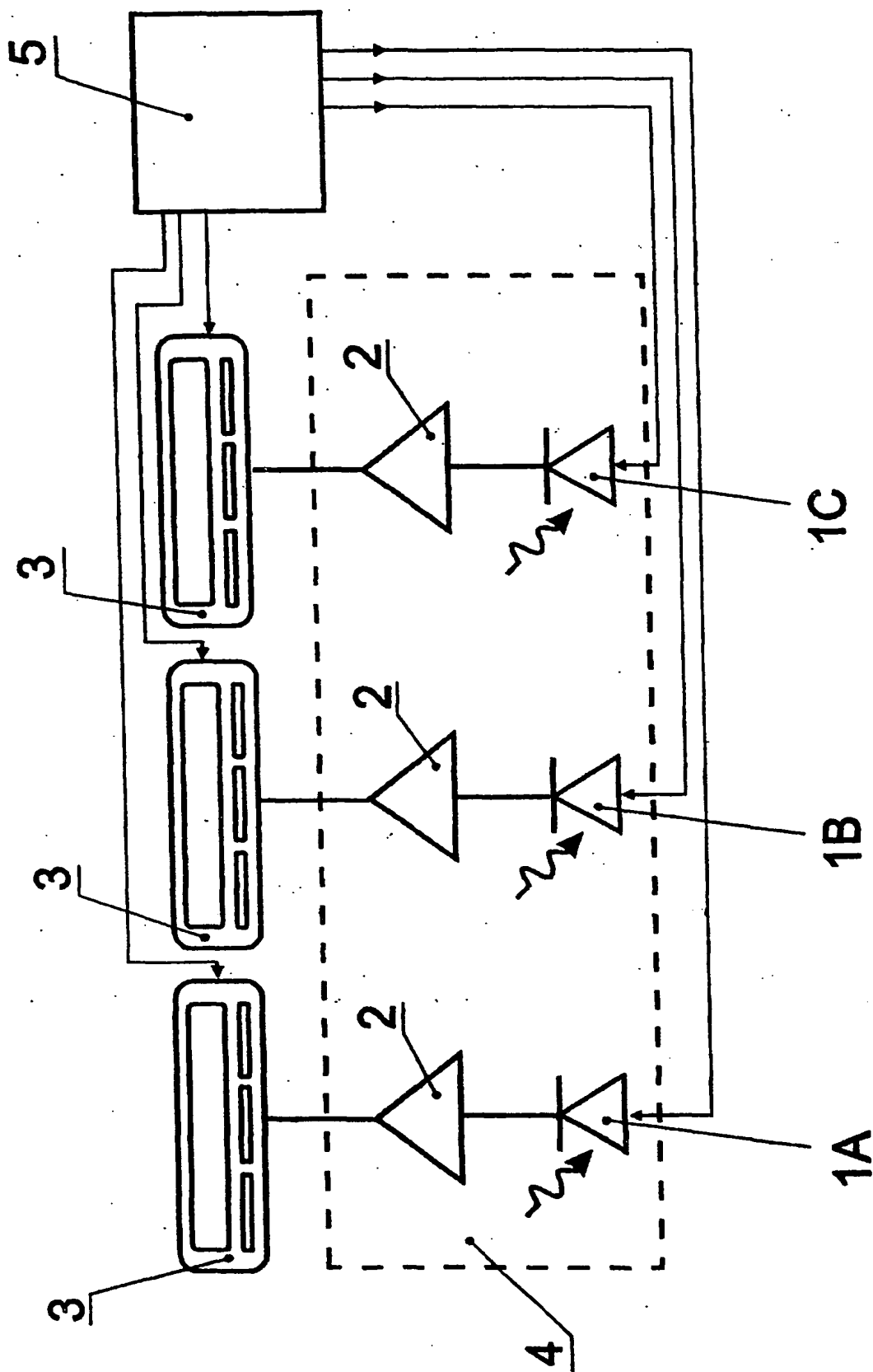


Fig. 1



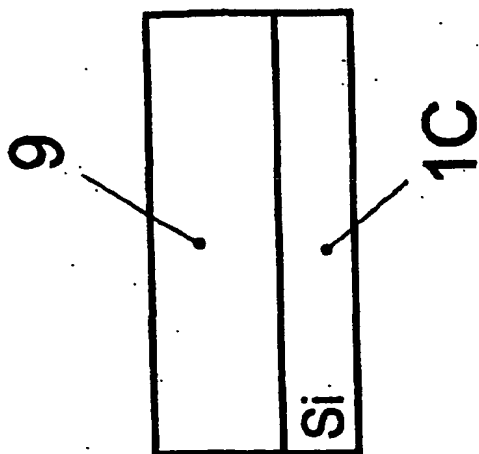


Fig. 2C

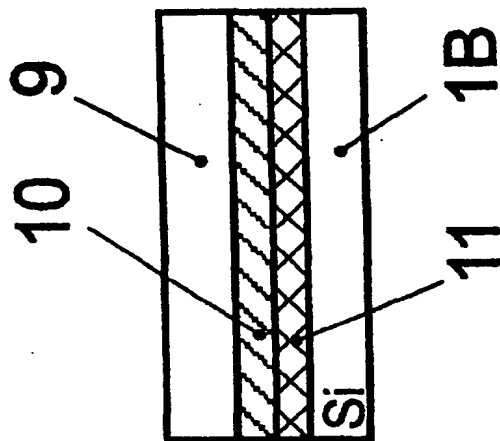


Fig. 2B

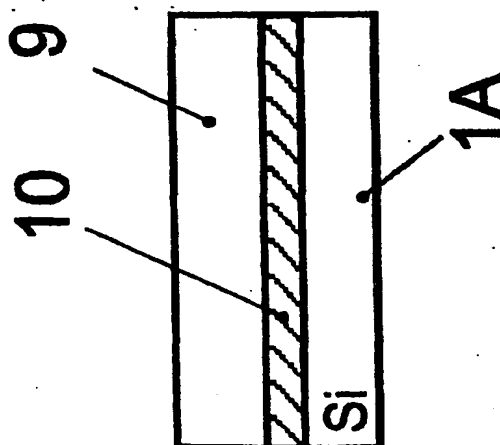


Fig. 2A

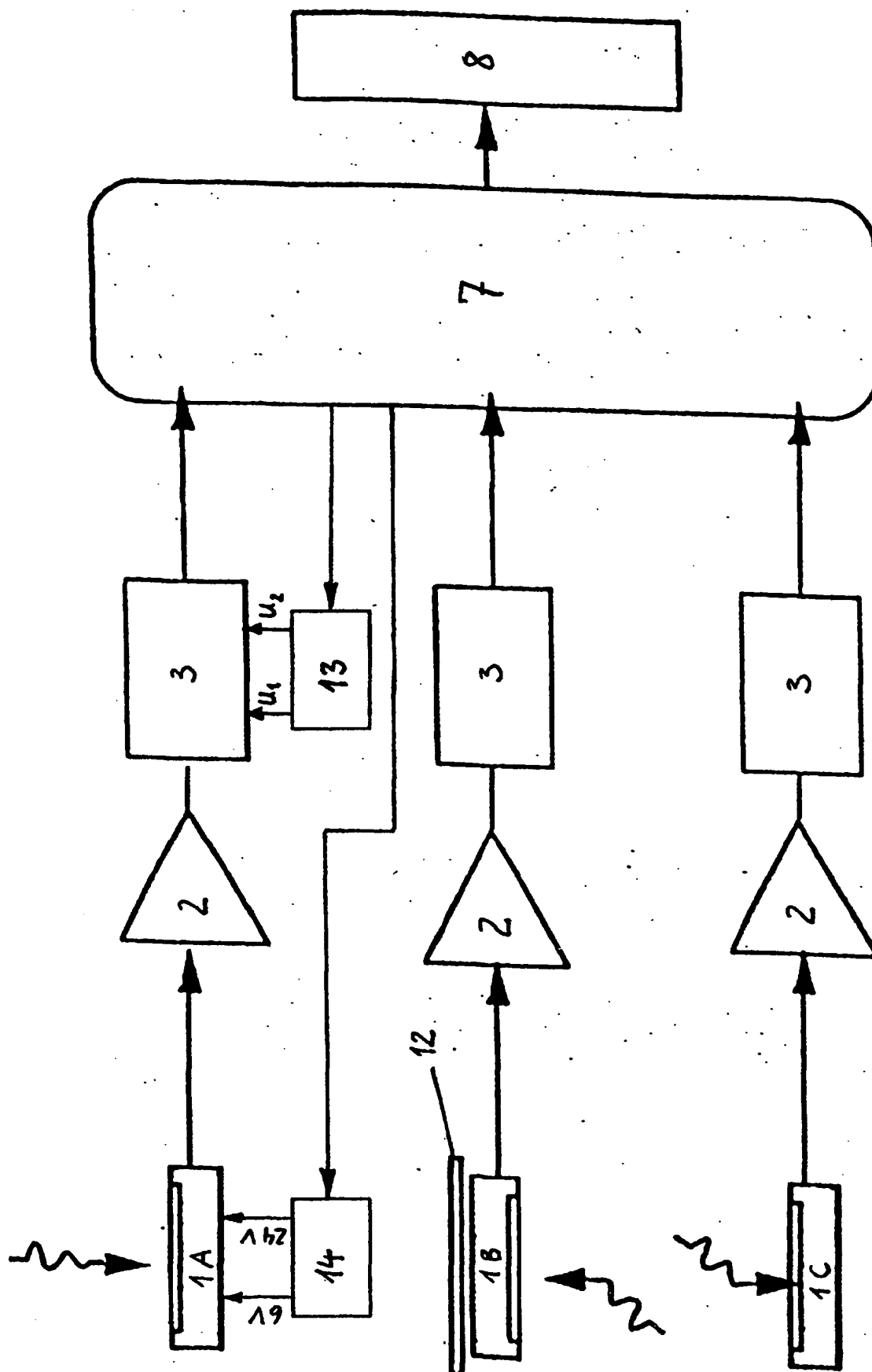


Fig. 3

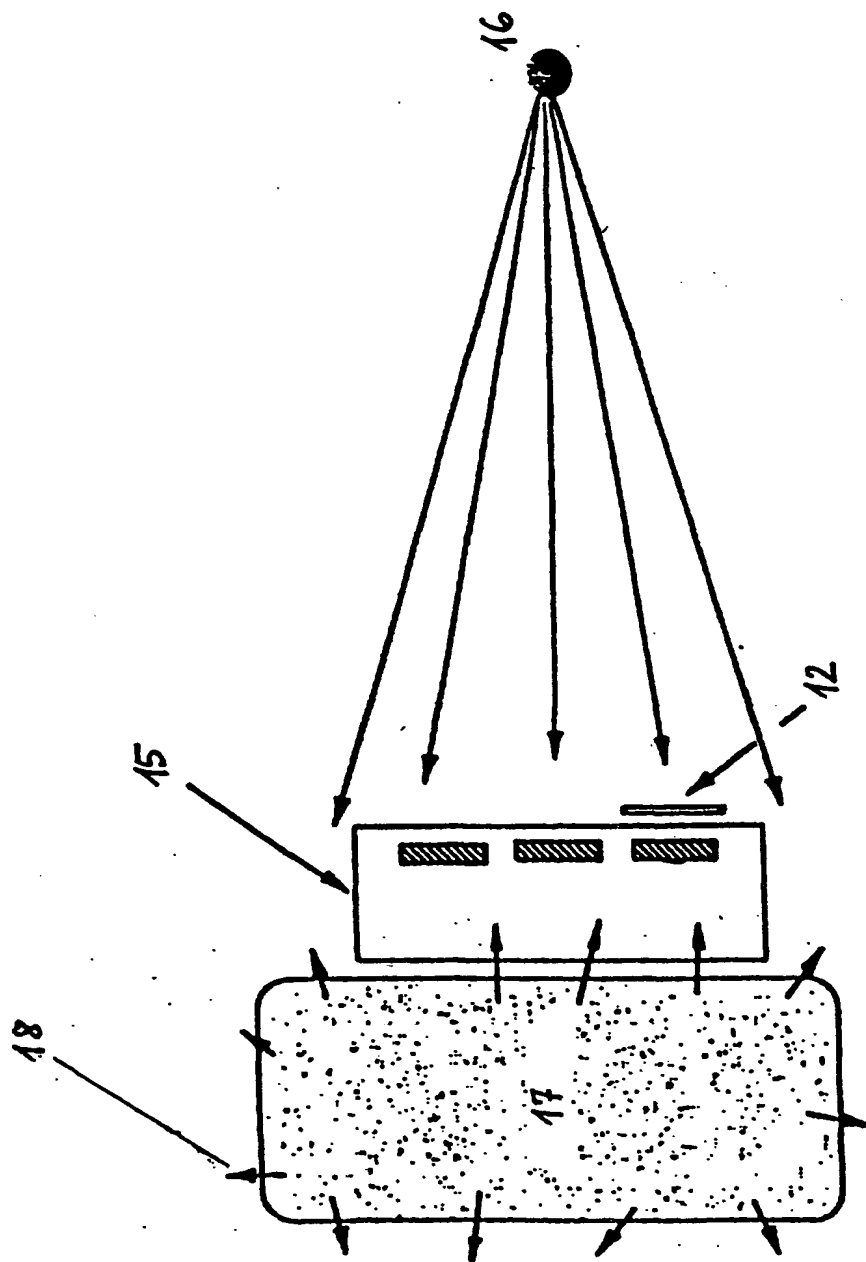


Fig. 4